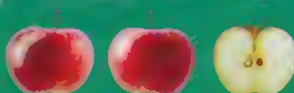
ثمرات من دوحة المعرفة

لماذا لا نرى في السماء نجوماً خضراء؟



ألان بوكيه

ترجمة:
عبد الهادي الإدريسي



ثمرات

من دوحة المعرفة

ألان بوكيه

لماذا لا نرى في السماء نجوماً خضراء؟

ترجمة:

عبد الهادي الإدريسي

مراجعة:

د. فريد الزاهي



الطبعة الأولى 1433هـ 2012م

QB801 .B6812 2012
Bouquet, Alain.
[Pourquoi n'y a-t-il pas d'etoiles vertes?]
لماذا لا نرى في السماء نجوما خضراء؟ / تأليف ألان بوكيه: ترجمة عبد الهادي الإدريسي : مراجعة فريد الزاهي- أبوظبي: هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة، كلمة، 2012.
ص 80 : 10×16 سم.
(سلسلة ثمرات من دوحة المعرفة)
ترجمة كتاب: Pourquoi n'y a-t-il pas d'étoiles vertes ?
تدمك: 978-9948-17-027-3
1 - النجوم.
أ-إدريسي، عبد الهادي. ب-زاهي، فريد.

يتضمن هذا الكتاب ترجمة الأصل الفرنسي:
Alain Bouquet
Pourquoi n'y a-t-il pas d'étoiles vertes ?



www.kalima.ae

ص.ب: 2380 أبوظبي، الإمارات العربية المتحدة، هاتف: 451 6515 2 971+ فاكس: 127 6433 2 971+



هيئة أبوظبي للسياحة والثقافة
ABU DHABI TOURISM & CULTURE AUTHORITY

لماذا لا نرى في السماء نجوماً خضراء؟

المحتويات

مقدمة

كنت أحاور الأمير الصغير[1] تحت سماء صافية:

– انظر هناك. هل تراه وكلباه يتبعانه؟ إنه الصياد «الجبار» Orion يرشق الثور بسهامه، وأما الدِّبران أو الثور فهي النجمة الحمراء التي تشير إلى العين الجريحة...

– الحمراء؟

– أجل حمراء، انظر جيداً.

– نعم إذا شئت، إن بها شيئاً من حمرة.

– وهناك خلفها، إلى الأسفل، ترى نجمة مزرقَّة بعض الشيء، إنها الشعرى اليمانية، أشد نجوم مجرَّة الكلب الكبرى لمعاناً، وتحتها نجمة بها اصفرار، هي نجمة بروسيون Procyon من مجرة الكلب القزمة.

(1) المقصود بطلُ الكتاب الشهير الذي يحمل الاسم نفسه، من تأليف الطيار والكاتب الفرنسي أنطوان دي سانت إكزوبريه. (المترجم)

– معك حق. لقد بدأت أرى الاختلافات الطفيفة بين الألوان. عجباً، فلطالما حسبت أن النجوم كلها بيضاء... إذن، فالسماء فيها نجوم من جميع الألوان، زرقاء وحمراء وبيضاء وصفراء وخضراء؟

– كلا. ليس هناك من نجوم خضراء في السماء.

والأمر بالفعل كذلك، فليس هناك من نجوم خضراء في السماء، اللهم إلا تلك التي يطلقها أصحاب الألعاب النارية بطبيعة الحال. لكن لماذا؟ أليست هناك نجوم حمراء، مثل الدبران والجوزاء التي تشكل كتف الجبار، ونجوم بيضاء تتخلل بياضَها زرقة، مثل بعض أكثر النجوم لمعاناً في السماء، كالشعرى وكانوبوس Canopus وفيغا دو لا لير Véga de la Lyre أو ريغل Rigel، التي تمثل رجْل الجبار اليمنى، ونجوم صفراء مثل بروسيون

وكابيلا Capella ومثل شمسنا بطبيعة الحال؟

نعم، لكن ليس هناك من نجم أخضر. فلماذا يا ترى؟

الألوان أولاً

أول سؤال يتعين علينا طرحه ها هنا هو بطبيعة الحالِ: ما اللونُ؟ والجواب على هذا السؤال ليس بالسهل. فهل اللون خاصية تميز الشيء المرئي أم هل هو من خواص العين التي ترى، أم هل الأمر من شأن العقل الذي يتولى تأويل ما تراه العين؟ لقد حسب الناس طويلا أن النظر ينطلق من العين ليسقط على الشيء المنظور، وما زلنا حتى اليوم نقول عن الرجل إنه «ثاقب النظر» أو «حاد البصر» وما جرى مجرى ذلك من أوصاف. لكن، إذا كان الأمر كذلك فلا بد لهذا الشيء المنبعث من العين أن يكون ذا أثر ومفعول في الشيء المرئي، ولا بد أن يصدر رد فعل عن هذا الشيء صوب أعيننا كي نستطيع رؤية ما حولنا من أشياء. ولما كنا لا نستطيع رؤية شيء متى كنا في الظلام، فلا مفر من الإقرار بأن للضوء

دوراً في العملية. واليوم يبدو لنا من البدهي أننا نرى الشيء حين يرسل هذا الشيء أو يعيد إرسال ضوءٍ صوب أعيننا، وأن هذه الأخيرة ليست سوى مستقبِل لهذا الضوء لا أكثر. لكن لماذا نرى الأشياء ملونةً؟ هل لون الشيء من صميم طبيعته، مثل مادته أو كتلته مثلاً؟

لنأخذ تفاحة على سبيل المثال. هي في ضوء الشمس خضراء، وتبدو خضراء كذلك إذا سلطنا عليها ضوء مصباح نيون أخضر من مثل ما يكون معلقاً على أبواب الصيدليات، لكن لونها تحت ضوء مصباح أحمر يصبح بنياً داكناً. معنى ذلك أن لون التفاحة يتغير بتغير الإضاءة. لكن، ليس هذا كل شيء، فالتفاحة إذا كانت حمراء تحت ضوء الشمس تبقى حمراء تحت الضوء الأحمر. بيد أنها حين تصبح بنية داكنة فإنما ذلك تحت الضوء الأخضر. ومعنى هذا أن اللون رهين أيضاً بطبيعة

الشيء المرئي. نحن نفهم اليوم أن التفاحة لا تعكس سوى قسم من الألوان المتضمنة في الأشعة التي تضيئها، بمعنى أن التفاحة «الخضراء» لا تعكس من ألوان الأشعة الساقطة عليها سوى اللون الأخضر، فلا تكاد تعكس شيئاً متى كان الضوء الساقط عليها أحمر، ونقيض ذلك حالُ التفاحة الحمراء التي تعكس القسم الأحمر من الضوء. ولنلاحظ أن هذا يعني ضمنياً أن أشعة الشمس تحتوي على أشعة حمراء وخضراء وكذلك زرقاء وصفراء، غير أن هذا لم يكن بدهياً، بل تعين انتظار أن يجعل نيوتن ضوء الشمس يمر عبر منشور زجاجي ليبرهن لنا أنه حزمة من ألوان الطيف تمضي من الأحمر إلى البنفسجي مروراً بالأصفر والأخضر والأزرق. وبدهي أن ذلك يعني أن الأشياء التي لا تخترقها الأشعة، أي الأشياء غير الشفافة، تكون ملونة حين تعكس ضوءاً بلون معين.

ليس الوضع كذلك متى كانت المادة التي يسقط عليها الضوء قريبة من الشفافة، مثل الهواء أو الماء، إذ يجري امتصاص جزء من الأشعة وعكسُ جزء آخر منها. ولما كان الامتصاص والانعكاس رهينين معاً بلون الضوء، وكان الهواء يعكس اللون الأزرق أكثر من غيره من الألوان، فإن أشعة الشمس، وهي نازلة إلينا، تفقد المكون الأزرق من أشعتها، الذي يجري انعكاسه في الهواء من جزيْء إلى جزيْء حتى يضيء السماء كلها بلون أزرق. أما حين يكون سمك الطبقة الهوائية التي ينبغي أن يخترقها ضوء الشمس كبيراً، وهو ما يقع حين تكون الشمس قريبة من الأفق، فإن أشعتها تفقد مكونها الأزرق جميعه، ولكن كذلك الأصفر وقسماً من الأخضر، ولذلك يكون قرصها عند الشروق وعند الغروب أحمر. أجل، هذا كله لا يشرح لنا ما اللون، لكننا نتقدم رويداً. فقد فهمنا حتى الآن أن الأشياء إنما

تبدو ملونة لأنها تعكس أشعة من هذا اللون أو ذاك، وليس لأنها تحمل اللون في ذاتها كما تحمل مادتها مثلاً.

بيْد أن هناك أشياء تحمل ألوانها في ذاتها، هي مصادر الضوء. وأهم هذه المصادر في حياتنا اليومية هو بطبيعة الحال نور الشمس، لا بل إن نورها هو الضوء عينه، وحين نتكلم عن «الضوء الطبيعي» فإنما نعني نور الشمس. لكن هناك مصادر أخرى للضوء من حولنا، وهي كلها مصادر ملونة. انظر مثلاً ضوء شمعة، تجده أزرق عند الفتيلة ثم أصفر برتقالياً في المنتصف وأخيراً أحمر داكناً عند رأس اللهب قبل أن يضيع هذا في الهواء هباباً أسود. وبدهي أن الألوان ها هنا ألوان اللهب نفسه، ولا حاجة بنا إلى أن نسلط عليها ضوءاً كي نراها. وحين تنظر إلى مدينة كبيرة في الليل فإنك تراها تبعث أضواء من كل الألوان، مصادرها الإنارة العمومية وأضواء

السيارات الأمامية الصفراء والبيضاء والخلفية الحمراء، وأضواء «النيون» التي تستعملها المتاجر بألوان متعددة، وتلك الألوان، من أحمر وأصفر وأخضر وأزرق وأبيض، كلها تنبعث من أنابيب أو مصابيح أو أقواس كهربائية من جميع الأصناف. فإذا ما نحن ابتعدنا عن هذه المنابع الضوئية والتجأنا إلى سكون الريف البعيد وظلامه، وجدنا أن سماء الليل مكسوةٌ هي الأخرى بأعداد لا تحصى من المصابيح الصغيرة، هي التي ندعوها بالنجوم. والنجوم مثل الشمس مصادرُ للضوء.

لون الشيء الذي نراه هو إذن خاصيةٌ من خواص الضوء تتلقاها أعيُننا من الشيء المرئي، سواء أكان هذا الأخير مصدراً للضوء أم فحسب عاكساً له.

لكن ما الشيء الملون في الضوء؟

لون الضوء

لكن قبل ذلك ما الضوء؟ بعد بضع سنوات من التأمل والرجم بالغيب، قادَنا قرنان متتاليان من البحوث في علم الفيزياء إلى الخروج بخلاصة مفادها أن الضوء موْجة، تماماً كالموج على سطح البحر أو كالصوت في الهواء، مع فارقٍ أن الأمر لا يتعلق ها هنا بجزيْئاتٍ من الماء أو الهواء تتذبذب، بل هما حقلان كهربي ومغناطيسي.

ما من موجة إلا وهي محدَّدة بكميتين، إحداهما سعة الاهتزاز amplitude، أي مقدار علو موجة البحر عن السطح أو مقدار ارتفاع الصوت، والأخرى طول الموجة، وهي المسافة التي تفصل بين قمتي موجتين متتاليتين. ويتراوح طول الموجة الصوتية ما بين بضعة سنتيمترات (للأصوات الرفيعة) وبضعة أمتار (للأصوات الخفيضة). أما

الأمواج الكهرومغناطيسية فالمدى عندها أوسع، إذ قد يبلغ طولها كيلومتراً كاملاً (وتكون الموجة عندئذ موجة راديو) أو مليمتراً واحداً (وتكون ساعتها مويجة، من مثل ما تعمل به الأفران المنزلية العصرية)، أو ما بين جزء من ألف وجزء من عشرة آلاف جزء من المليمتر، ونتحدث حينها عن الموجات الضوئية، أو أقصر من ذلك فنتحدث عن الأشعة السينية أو أشعة غاما γ، والأمر في الحالات جميعاً يتعلق بالظاهرة الفيزيائية ذاتها. بيد أن أعيننا لا تستطيع أن ترى من هذه الموجات إلا قدراً يسيراً ينحصر في شريط ضيق من هذه الأطوال، وقد لزمنا من أجل رؤية البقية أن نخترع الأدوات والآلات الضرورية لذلك (من هوائيات راديو وشاشات حساسة للأشعة السينية ولاقطات للموجات من كل صنف). وبما أن حديثنا يدور اليوم حول الضوء فسيكون من المناسب أن نستعمل في قياس موجاته

وحدة ملائمة، هي النانومتر (جزء واحد من مليار جزء من المتر، أو من مليون جزء من المليمتر)، ذلك أن أعيننا حساسة فقط لشريط من الموجات يتحدد ما بين 400 و700 نانومتر، وإذا كان طول الموجة بين هذين الحدّين، فإنها تثير سلسلة من التفاعلات في أعيننا وفي عقلنا، تفضي إلى الإحساس بلون معين. وقد بينت التجربة أن العقل يعرِّف الأشعة على أنها حمراء إذا كان طول موجتها يبلغ 650 نانومتراً، وصفراء إذا كان طولها 580 نانومتراً، وخضراء إذا كان الطول 510، وزرقاء عند 470، وبنفسجية عند 420. وهذا التتابع هو ذاته الذي نجده في ألوان قوس قزح، وهو ما ليس البتة من فعل المصادفة، إذ إن قطرات الماء العالقة في الهواء، وهي المسؤولة عن هذه الظاهرة، تحرِّف اتجاه الأشعة، بفعل ظاهرة الانكسار، بدرجة أكبر كلما كان طول الموجة أكبر. وأعيننا لا ترى الأشعة التي يزيد طول موجتها عن

680 نانومتراً، أي الأشعة تحت الحمراء، ولا تلك التي يقل طول موجتها عن 380 نانومتراً، أي الأشعة فوق البنفسجية، غير أن بعض الحيوانات تستطيع رؤية الأولى، ومنها الأفاعي، أو الثانية، ومنها النحل. وتختلف الحساسية للألوان بين الحيوانات اختلافاً كبيراً، وقد طال الجدل زمناً قبل أن يتفق أهل الاختصاص على أن الطيور ترى الألوان جيداً وأقل منها الثدييات بكثير، حيث يبدو أن البقريات ترى العالم باللونين الأبيض والأسود فحسب، فيما ترى القطط عالمها أخضر وأزرق (رغم أن قطي يؤكد أن ذلك ليس مهماً، إذ إنه ينطلق للصيد عند نزول الظلام، وحينها تكون الفئران كلها رمادية...).

الأمور حتى الآن تسير على ما يرام، إذ نرى أن كل طول موجة معين يرتبط بلون معين. لكن، ما الذي يحدث حين تتلقى أعيننا أشعةً تتراكب فيها أطوال موجات عدة؟ لنأخذ مثلاً ضوءاً أحمر وضوءاً

أخضر متراكبين: سترى أعيُننا لوناً أصفر. وهذا العجز عن التمييز بين ضوء ناشئ عن أشعة متراكبة كالضوء الذي ذكرناه وبين ضوء صافٍ لا تراكُبَ فيه (وحيد اللون monochromatique كما يدعوه الفيزيائيون)، هو الذي تستفيد منه صناعة شاشات التلفزيون والحاسوب، إذ تكفي ثلاثة أنواع من عناصر الصورة pixels، تبث أشعة حمراء وخضراء وزرقاء، للحصول على كل الألوان التي نريد. وها قد بدأنا نفهم لماذا لا يتحدث الفيزيائيون عن اللون، تاركين ذلك المفهوم لعلماء الأحياء والأعصاب يستعملونه. ونادرة في الطبيعة هي الأشياء التي تبث أشعة بطول موجة واحد، بل تتراكب في الغالب أطوال عدة في الألوان التي نراها، مما يجعل من مسألة **الطيف** مسألةً أساساً في هذا المضمار. والطيف عند أهل الفيزياء لا علاقة له بالأشباح ولا بعالم الأرواح، بل يعبرون بهذه اللفظة عن لائحة

أطوال الموجات التي يبثها شيء معين، مع ذكر شدة intensité كل منها على الترتيب. والطيف البسيط هو بطبيعة الحال الطيف الذي لا يشتمل إلا على طول موجةٍ واحدة، أي الذي تبثه الأشياء وحيدة اللون، وأكثر منه تعقيداً بقليل الطيف الذي يشتمل على مجموعة من أطوال الموجات المتميز بعضها عن بعض، حيث يكفي جعله يمر عبر منشور زجاجي كما فعل نيوتن كي يتشعب إلى مجموعة من الخطوط اللامعة التي تفصلها مناطق مظلمة. ووضعية تلك الخطوط السوداء، وكذا شدة لمعانها، تُعد خصائصَ مميِّزةً للعنصر الكيميائي الذي يبث الضوء، وتمثل بذلك توقيعاً بالغ الأهمية والدقة. ونجد مثل هذه الأطياف في الضوء الأصفر الذي تنير به مصابيح بخار الصوديوم الطرقات السريعة في مدننا (واللون الأصفر يأتي ها هنا من خطين يبلغ طول موجتيهما على التوالي 539 و589 نانومتراً، أما شدة الإضاءة

المنبعثة من الخطوط الأخرى فضعيفة). لكن هناك أيضاً أطيافاً لا تتكون من خطوط منفصلة بعضها عن بعض، بل من خطوط متصلة من جميع أطوال الموجات (علماً بطبيعة الحال بأن شدة الإضاءة تختلف من موجة إلى أخرى). وبعض هذه الأطياف ضيق الحيز، مما يعني أن قوة الإشعاع لا تكون مهمة إلا في نطاق ضيق حول طول موجة معين، وهي حال محطات إرسال موجات الراديو، التي تستعمل «عرض شريط» ضيق حتى لا تتداخل رسائلها مع رسائل محطات أخرى تستعمل طول موجة قريباً من طول موجتها. وبعض الأطياف تكون عريضة، مما يعني أن شدة الإضاءة تبقى مرتفعة على امتداد شريط عريض من الموجات، وهو على سبيل المثال حال المصابيح المتوهجة (مثل المصابيح التي نستعملها في البيوت)، التي تبث بالإضافة إلى الضوء المرئي موجات من الأشعة تحت الحمراء وكذلك قليلاً من

الأشعة فوق البنفسجية. وهذا المثال الأخير يكتسي أهمية خاصة ها هنا؛ لأنه يشير إلى خاصية يتميز بها قسم كبير من الأشياء المضيئة، هو قسم «الأشياء الساخنة»، التي سينصب عليها اهتمامنا في ما بقي من كلام.

لماذا يقولون إن الشمس جسم أسود؟

إن طيف الضوء الذي يأتينا من النجوم يكون في غالب الأحيان طيفاً متصلاً عريضاً، وهو ما يميز الأجسام الحارة، وتتراكب فوقه خطوط معزولة. وفي هذا الطيف ما يخبرنا، إن لم نكن بعد ندري، بأن النجوم أجسام ساخنة. والراهب إيزيدور الأشبيلي Isidore de Séville يزعم في معجمه الاشتقاقي أن لفظة color اللاتينية بمعنى «لون» مشتقة من لفظة calor بمعنى «الحرارة»، وهو زعم وإن كان في غير محله (فاللفظة مشتقة من celare بمعنى أخفى يخفي)، إلا أنه يبين أن حدس الرجل كان صائباً، إذ إن لون الأشياء الساخنة يتأتّى من سخونتها، أو قل بالأحرى من درجة حرارتها. وما منا أحد سبق له أن رأى الحداد يسخن الحديد حتى يبيضّ، ورآه يضرب الحذوة فيما لونها يتحول رويداً

من الأبيض المزرقّ إلى الأصفر فالأحمر قبل أن تعود رمادية وهي تبرد، إلا وقد حدس أن هناك علاقة مًا بين حرارة القطعة الحديدية ولونها. فما السبب في ذلك يا ترى؟ السبب هو أن الحرارة تستحث ذرات المعدن بأشكال مختلفة، وهذه حين تُستحث تبث ضوءاً يحمله عدد كبير من أطوال الموجات. وهذا الطيف، الذي يسمونه لأسباب تاريخية غامضة «طيف الجسم الأسود»، له شكل معين يشبه شكل قبعة نابليون منْبعجة بعض الشيء عند الجانب، وهو شكل لا يختلف كيفما كانت طبيعة الجسم الذي يجري تسخينه، بمعنى أن الأجسام جميعاً تشع بالطريقة ذاتها حين تكون في درجة الحرارة نفسها. وتكريماً لذكرى عالم الفيزياء ماكس بلانك Max Plank الذي كان أول من شرح هذه الظاهرة في سنة 1900، أُطلقَ اسمه على الطيف فقيل «طيف بلانك»، وهو الطيف الذي يسكن (ومعذرة

لاستعمالي هذا الفعل عمداً) كل ميادين الفيزياء، من الإلكترونيات إلى علم الفضاء، فالفلَك. ولنذكر من هذا كله أن الطيف ها هنا متصل وعريض وأنه هو نفسه عند الأجسام جميعها لا يتغير.

إذا كان شكل «طيف بلانك» لا يتغير، فإن وضعيته في ما يتعلق بأطْوال الموجات تتغير مع تغير حرارة الجسم الذي يبثه، حيث تنتقل الشدة القصوى مع ارتفاع الحرارة صوب الموجات ذات الأطوال الصغرى، وهو ما يفسر انتقال لون الحذوة فيما هي تسخن من الأحمر إلى الأصفر فالأبيض المزرقّ. ومعنى ذلك أن طول الموجة عند الشدة القصوى متناسب تناسباً عكسياً مع الحرارة، وهو ما يشكل القانون المعروف باسم قانون فيين Wien، على اسم عالم الفيزياء الألماني الذي اكتشف هذا القانون في القرن التاسع عشر. وعلى هذا تكون «الأجسام السوداء» سوداء فقط حين تكون درجة

حرارتها منخفضة، أما حين ترتفع درجة الحرارة فإنها تصبح (في أعيننا) مضيئة. وبتعبير أدق فإن طول الموجة عند الشدة القصوى يساوي ثلاثة ملايين نانومتر مقسومة على درجة الحرارة (وقياس الحرارة هنا بمقياس كلفن، أي بإضافة 273 درجة إلى حرارة السلم المئوي). ومثالاً في ذلك نقول إن حرارة الجسم البشري هي 37 درجة مئوية، أي 310 درجات على مقياس كلفن، مما يعني أن شدة الإشعاع الحراري القصوى التي تنبعث منه هي حوالي ثلاثة ملايين مقسومة على 310، أي ما يناهز عشرة آلاف نانومتر، مما يضعه في الطرف الأقصى من الأشعة تحت الحمراء. والجسم البشري من أثر ذلك يُعد «جسماً أسود» بمعنى أننا لا نستطيع رؤيته في الظلمة، لكننا نستطيع ذلك إذا توفرات لنا نظارات حساسة للأشعة تحت الحمراء، وهو ما يفسر اهتمام العسكريين بهذا النوع من المناظير.

أما حذوة الفرس فإنها حين تُسخن إلى 1200 درجة مئوية، أي حوالي 1500 درجة كلفن، تكون شدتها القصوى هي ثلاثة ملايين مقسومة على 1500، أي حوالي 2000 نانومتر، مما يضعها في الطرف الأدنى من الأشعة تحت الحمراء. ويبقى قسم كبير من الأشعة المنبعثة منها غير مرئي بالنسبة إلينا، لكن قسماً غير هين منها يقع عند «أطراف» قبعة نابليون، ومنها اللون الأحمر الذي يقع في نطاق رؤيتنا، وحينها نقول إن الحديد قد حمى. فإذا ما زادت الحرارة على ذلك انتقل الإشعاع الأقصى على صفحة الشريط المرئي، فصار الحديد يبدو لأعيننا أصفر ثم أبيض.

لكن مهلاً! لماذا لا يصبح الحديد الساخن أبيض وليس أخضر ثم أزرق ثم بنفسجياً كما هو تتابُعُ ألوان الطيف؟ هذا من شأنه أن يزرع بذرة من بذور الشك في كون فيزياء الأشعة وفسيولوجيا البصر

تختلفان عند هذه النقطة فلا تتفقان. فلنحتفظ بهذه المعلومة ولنرجع إلى ما كنا نخوض فيه من حديث النجوم.

نجوم بألوان متعددة

الآن وقد عرفنا أن لون الأشياء، مثل النجوم، رهين بحرارتها، آن لنا أن نتساءل عما يحدد درجة حرارة النجوم وبالتالي لونها. وبصيغة أكثر بساطة، ما الذي يميز نجمة حمراء عن أخرى صفراء أو زرقاء؟

كانت الانطلاقة الفعلية لنظرية النجوم في 1912، حين خطر ببال عالمي الفلك إينار هيرتزسبرونغ Ejnar Hartzsprung وهنري نوريس روسل Henri Norris Russel، كلا من جانبه، فكرةُ تمثيل شدة ضوء النجوم نسبة إلى حرارة سطحها، تمثيلها على رسم بياني، فاتضح لهما أن النجوم لا تتوزع على صفحة الرسم توزعاً اعتباطياً بل تتجمع على طول شريط ضيق مائل، أطلقوا عليه من يومها اسم **«المقطع الرئيس»**. وتنفصل عن ذلك الشريط بعض

النجوم إلى الجانب، هي «الأقزام البيضاء» وبعضٌ إلى الجانب الآخر، هي «العماليق الحمراء». لكن لندع عنا هذه وتلك جانباً على أن نعود إليها لاحقاً.
قلنا إذن إن النجوم تتجمَّع على طول شريط مائل، ووجود ذلك التجمع في حد ذاته يعني أن هناك علاقة بين حرارة سطح النجمة ولمعان ضوئها، بحيث كلما كانت النجمة أعلى حرارة كان ضوءها أقوى. وشدة اللمعان ترتفع سريعاً جداً مع ارتفاع الحرارة، بما يقارب أس سبعة، بمعنى أن مضاعفة درجة الحرارة مرة واحدة يجعل اللمعان يتضاعف مائة مرة. وهذا لا يدهشنا كثيراً، بالنظر إلى أننا نعرف أن الأجسام المضيئة جميعاً يزداد ضوءها قوة حين ترتفع حرارتها، لكن المألوف أن ذلك الازدياد يكون بمقدار أس أربعة، وهو ما يعرف باسم قانون ستيفان Stefan (فيزيائي ألماني آخر من القرن التاسع عشر). بيد أن شدة الإضاءة مرتبطة

أيضاً بالمساحة التي تبث الضوء، ونستنتج من ذلك أن مساحة النجم تزداد هي أيضاً مع الحرارة، وأن نسبة ذلك الازدياد هي بمقدار أس ثلاثة (سبعة مطروحٌ منها أربعة) بما يتم السبعة التي نجد. وبتعبير آخر فإذا كنا نعرف حرارة سطح نجم معين من نجوم المقطع الرئيس فإننا نستطيع أن نستنتج منها شدة ضوء النجم وكذلك قطره؛ لأن هذه المعطيات كلها مرتبطٌ بعضُها ببعض.

فما السر يا ترى وراء هذا الارتباط؟ إن السر يتمثل في كون المعطى الوحيد الذي يميز بالفعل نجماً معيناً عن نجم آخر هو الكتلة، بمعنى أن نجمين لهما الكتلة ذاتها يُعدَّان مبدئياً نظيرين. وكتلة النجم هي التي تحدد درجة حرارة سطحه وكذا قطره وشدة ضوئه. لا بل إن كتلة النجم هي التي تحدِّد بنيته الداخلية وكذا مسيره في الحياة وتطوُّرَه مع مرور الزمن. ووجود شريط ضيق تتجمع فيه أغلب النجوم

في الرسم البياني المذكور يعد دليلاً على أن النجوم في آخر المطاف أشياء بسيطة (والكلام بطبيعة الحال نسبي، والمقصود أن النجمة أشد بساطة من الفيروس مثلاً بما لا يقاس)، وأن كتلتها تكاد تحدِّد وحدها خصائصها الأخرى كلها. لكن كيف يا ترى تتحكم الكتلة في لون النجم؟ من أجل فهم ذلك يتعيَّن علينا أن نغوص في داخل جسم النجم.

بما أن طيف النجوم يبين أن حرارتها تبلغ آلاف الدرجات المئوية، فهذا يعني أنها ليست سوى كرات هائلة من الغازات؛ لأن الأجسام جميعها، صلبة وسائلة، تكون عند هذه الدرجات من الحرارة على شكلٍ غازي. ونحن نستشفُّ من وضع الشرائط المختلفة في طيف النجوم أن تلك الغازات تتكون من الهيدروجين بنسبة 90 بالمائة والهليوم بنسبة تسعة بالمائة، في حين لا توجد العناصر الأخرى، من قبيل الأكسجين والكربون

والنيتروجين والحديد وغيرها، إلا بمقادير قليلة جداً. والهيدروجين والهليوم هما كما نعلم العنصران الأولان على لائحة مندلييف، ونواتاهما هما الأبسط بين مثيلاتهما جميعاً، وتركيبتهما تجد تفسيرها في نظرية الانفجار العظيم الأول، وهو مقالٌ ليس ها هنا مقامه. والنجوم عبارة عن كرات ضخمة من الغاز، ذات شكل كروي على وجه التقريب، وجسمها متماسك بفضل جاذبيتها الخاصة النابعة من وزنها، وهذا الأخير يكافئه ضغط الغازات من الداخل وإلا لتهاوى النجم على نفسه تحت ثقله الخاص. وبتعبير أدق فإذا نظرنا في حال جزء صغير من النجمة في مكان ما من جسمها فسنجد أن ذلك الجزء يتعرض لقوتين متضادتين تكافئ إحداهما الأخرى، إحداهما قوة الجاذبية الناتجة عن كل الكتلة الموجودة تحت ذلك الجزء، والأخرى القوة المعروفة باسم قوة أرخميدس

الدافعة، التي تدفعه نحو الأعلى. ولكي تكون هناك هذه القوة الأخيرة لزم أن يكون الضغط أسفل الجزء المذكور أكبر منه في أعلاه، بمعنى أننا كلما ازددنا غوصاً نحو القلب ازداد الضغط ارتفاعاً. والطريقة التي يتغير بها الضغط انطلاقاً من السطح إلى القلب تعرف باسم «**ربح الضغط**»، والضغط يرتفع بموجبها من نحو صفر أو يكاد عند السطح إلى ما يعادل عند القلب مئات مليارات المرات مقدار الضغط الجوي المألوف لدينا. لكنْ، وكما هو الأمر بالنسبة إلى الغازات جميعاً فإن الحرارة ترتفع كلما ازداد الضغط ارتفاعاً (وهو ما يفسر ارتفاع حرارة المنفاخ حين نستعمله في نفخ عجلة دراجة). هناك إذن «**ربح حرارة**» يرسم مسار ارتفاع الحرارة انطلاقاً من السطح حتى القلب، بحيث ننطلق من بضعة آلاف من الدرجات عند السطح تصبح في القلب عدة ملايين. وبدهي أن النجمة كلما كانت أكبر

حجماً كان الضغط في قلبها أكبر وكانت الحرارة أشد ارتفاعاً.

بيد أن هناك بالنسبة إلى هذه الحرارة حداً حَرِجاً تصبح في ما وراءه كافيةً لإطلاق تفاعل حراري نووي. لكن، ما التفاعل الحراري النووي؟ إن النجوم كما رأينا تتألف في أكبر جزء منها من الهيدروجين، ويمكن لأربع نُوىً من الهيدروجين أن تنصهر متحدة لتفضي إلى تكوين نواة هليوم واحدة، وخلال هذه العملية يختفي ما مقداره 7 بالمائة من المادة ليتحول إلى ضوء، وهذا الضوء هو سرُّ لمعان النجوم وبريقها. غير أن نوى الهيدروجين ليس لديها أي دافع طبيعي إلى الاتحاد منصهرة مع بعضها، بل إنها على العكس من ذلك تتنافر متدافعة. ومن أجل إجبارها على التلاقي والاتحاد يجب جعلها تتحرك بسرعة كبيرة، وهو ما لا يختلف عند أهل الفيزياء عن قولك إنه يجب رفع درجة حرارتها

إلى مستويات كبيرة. وكلما كانت الحرارة أكثر ارتفاعاً كانت النوى أقرب إلى التلاقي والاتحاد. أما إذا كانت درجة الحرارة أدنى من مليون درجة فلا أمل في حدوث انصهار (وهذا ما يفسر كيف أن الهيدروجين الموجود بكميات كبيرة في بحارنا ومحيطاتنا لا ينصهر تلقائياً). هذا يعني أن النجوم الصغرى لا تتمتع بهذا المصدر الداخلي من الطاقة، وقد بيَّنت الحسابات أن النجم إذا كانت كتلته أصغر من عُشر كتلة شمسنا فسيكون على حرارة غير كافية لتوليد تفاعلات حرارية نووية. وهذه النجوم الباردة موجودة وتعرف باسم «**الأقزام البنّية**»، وهي معتمة وتصعب ملاحظتها صعوبة كبرى. إذن، كلما كان النجم ضخماً كانت الحرارة في جوفه أكثر ارتفاعاً والتفاعلات أسهل وكان النجم بالتالي أشد لمعاناً. هكذا ندرك سر العلاقة القائمة بين لمعان النجم ودرجة الحرارة في جوفه. ولما كانت حرارة

السطح ترتفع بطبيعة الحال كلما زادت حرارة القلب ارتفاعاً، فإن العلاقة تمتد لتشمل أيضاً حرارة السطح، وهي الوحيدة التي باستطاعتنا أن نلاحظها بطريقة مباشرة. والمقطع الرئيس ليس بذلك سوى مقطع يرسم كتلاً متتالية إحداها أكبر من سابقتها، وأدناها تعادل عُشر كتلة شمسنا (إذ لا لمعان تحت تلك الكتلة)، وأقصاها نحو ستين ضعف كتلة شمسنا (إذ فيما وراء ذلك تصبح شدة الضوء من القوة بحيث يطرد ضغطها الطبقات الخارجية من النجم، مما يجعله يفقد من كتلته).

بيْد أن ما قلناه حتى الآن يجب تصحيحه بعض الشيء، ذلك أن النجم على امتداد حياته يغير من طبيعة تركيبته الكيميائية، إذ إنه لا يفتأ يحول الهيدروجين إلى هليوم، وهذا التغير ينعكس على معطيات الكثافة والضغط والحرارة، التي تتطور كلها تدريجياً. ومعنى ذلك أن قوة ضوء النجم

وقطرَه ودرجة الحرارة على سطحه تتغير كلها تدريجياً مع مرور الزمن، وتبعاً لذلك يكون نور الشمس قد زاد منذ ولادتها إلى اليوم بمقدار 25 بالمائة، وقطرها بعشرين في المائة وحرارة سطحها بما بين 1 و2 بالمائة. وينتج عن هذه التغيرات جميعاً بعض الاتساع الطفيف في المقطع الرئيس، بحكم أن النجوم التي لها الكتلة نفسها لكنها ليست في العمر نفسه لا تقع في المكان ذاته من الرسم البياني الذي توصل العالمان هيرتزسبرونغ وروسل إلى وضعه كل من جهته. أما حين يبلغ النجم نهاية حياته فإنه ينتقل على عرض المقطع الرئيس، إذ إن نفاد الطاقة في داخله يفضي إلى حدوث تغييرات عنيفة في تركيبته، فيشرع ضوء النجم ولونه في التغير سريعاً (والكلام هنا نسبي، ولفظة «سريعاً» في حساب النجوم تعني بضعة ملايين من السنين)، فينتقل النجم على عرض المقطع الرئيس صوب «العماليق الحمراء» لفترة

قصيرة، ثم صوب «الأقزام البيضاء». وقليلة هي النجوم التي تكون في هذه الحال في لحظة معينة، وهذا ما يشرح كوننا قد أهملنا الحديث عنها. وعلى كل حال فهي لا تكون خضراء أبداً!

ولنرجع الآن إلى ما كنا فيه من كلام، وأعني نجوم المقطع الرئيس، التي تكوِّن الغالبية العظمى من نجوم السماء. لقد رأينا أن كتلة النجوم تتراوح بين عُشْر كتلة شمسنا وبضع عشرات أضعاف كتلتها. والملاحظة تبين أن عدد النجوم يتناقص سريعاً حين ترتفع كتلتها، بحيث إن النجوم ذات الكتَل الأصغر أكبر عدداً بكثير من نظيرتها ذات الكتل الأكبر (تماماً كما في الغابة أعدادٌ من النمل أكبر بكثير مما فيها من الخنازير البرية). لكن لما كانت هذه النجوم الخفيفة باردة قياساً إلى الأخرى، فهي أشد حمرة وفي الآن ذاته أقل لمعاناً من الأخرى، مما يجعلها صعبة الملاحظة، ويجعلنا لا نرى منها إلا أقربها إلينا. ومن

أثر ذلك أن نجم بروكسيما الأقرب إلينا، الواقع على بعد أربع سنوات ضوئية، هو نجم صغير تبلغ كتلته نحو عشر كتلة الشمس، ولذلك فإن حرارته التي تبلغ نحو 2400 درجة مئوية تجعله يبدو أقل لمعاناً من الشمس بعشرة آلاف مرة، على حين أن جاريه ألفا A و B نجمان أصفران يشبهان الشمس. فإذا ما ذهبنا إلى أبعد من ذلك قليلاً، أي إلى حوالي ست سنوات ضوئية، سنجد نجماً آخر أحمر صغيراً، هو نجم بارنار Barnard، وقد اكتشف علماء الفلك مؤخراً، في 2003، نجماً آخر مثله على بعد ثماني سنوات ضوئية. أما النجوم الأكبر كتلة والأكثر حرارة فهي قليلة نادرة، ويجب الذهاب بعيداً من أجل العثور عليها، والذهاب أبعد فأبعد للعثور على نجوم أكثر فأكثر حرارة. وتناقُص عدد النجوم مع ازدياد الوزن تناقصٌ مطرد لا يعتريه اختلال ولا انقطاع، بمعنى أن المقطع الرئيس لا تتخلله انقطاعات ولا «ثقوب».

فدرجات الحرارة تتدرج بطريقة منتظمة، انطلاقاً من بضع مئات من الدرجات بالنسبة إلى النجوم الباردة إلى بضع مئات من آلاف الدرجات بالنسبة إلى أكثرها سخونة. والأشعة المنبثّة من النجم تكون في حيز الأشعة تحت الحمراء حين تكون حرارته بضع مئات من الدرجات، وفي الحيز المرئي حين تبلغ الحرارة بضعة آلاف من الدرجات، وفي حيز الأشعة فوق البنفسجية متى بلغت الحرارة بضع عشرات الآلاف من الدرجات. ونحن نعرف نجوماً حمراء وصفراء وزرقاء، لكن أين النجوم الخضراء؟

لنتأملْ عن كثب مجموعة النجوم التي تقارب كتلتها كتلة الشمس. ما تشير إليه نماذجنا الرياضية هو أن نجماً تقارب كتلته 70 بالمائة من كتلة الشمس (مع التركيب الكيميائي نفسه) تكون حرارة سطحه 4200 درجة مئوية، وأن إضاءته تبلغ حدها الأقصى عند 650 نانومتراً (حسب قانون فيين)، مما يعني أن

لونه سيكون أحمر. فإذا بلغت الكتلة ثمانين بالمائة من كتلة الشمس فإن حرارة السطح تبلغ 4700 درجة مئوية، فيما تنتقل نقطة الشدة القصوى إلى اللون الأصفر بما قدره 590 نانومتراً. أما إذا بلغت الكتلة ما يعادل كتلة الشمس فإن الحرارة تبلغ 5500 درجة مئوية، فيما اللون ينحو صوب... الأخضر... وبذلك نعلم ما لم نكن نعلمه، من أن الشمس نجم أخضر! لكن لنتابع كلامنا. إذا بلغت كتلة النجم ما مقداره 110 بالمائة من كتلة الشمس، فإن حرارة السطح ترتفع إلى 5900 درجة، ونقطة الإضاءة القصوى تكون في مجال اللون الأزرق بطول موجة مقداره 460 نانومتراً. أما إذا بلغت الكتلة 120 بالمائة من كتلة الشمس فإن حرارة السطح تبلغ 6600 درجة، في حين تكون نقطة الإضاءة القصوى في مجال اللون البنفسجي. إذن فكل شيء يمضي بطريقة عادية بالنسبة إلى عالم الفيزياء، حيث كلما ازدادت

كتلة النجم ارتفاعاً زادت حرارة سطحه ارتفاعاً كذلك، ومال إشعاعه الحراري صوب أطوال موجات أقصر فأقصر، وتدرجت نقطة إشعاعه القصوى من الأحمر إلى الأصفر فالأخضر فالأزرق فالبنفسجي. ليس هناك إذاً من مشكلة.

ليس ثمةَ من مشكلة، اللهم إلا أن الناس من غير الفيزيائيين يصرون على أن يروا في الشمس نجماً أصفر رغم أنه بما لا جدال فيه أخضر، وأنهم يعطون دائماً للنجوم ألواناً ليست هي ألوان إضاءتها القصوى... قد نعذرهم في كونهم يرون النجوم التي تبث أساساً بالأشعة تحت الحمراء، يرونها حمراء، وعذرهم في ذلك أن الأشعة تحت الحمراء غير مرئية، مما يجعل العين لا ترى من إشعاع النجم سوى «جناحه» الأحمر. وفي الجانب الآخر من الطيف نجد النجوم ذات الحرارة المرتفعة، التي تبث في مجال الأشعة فوق البنفسجية، حيث لا تستطيع

العين رؤية هذه الأخيرة بل ترى فقط «الجناح» البنفسجي والأزرق من الطيف، مما يجعلها ترى لون النجم كذلك. هذا كله مفهوم، لكن لماذا نجد أن النجوم التي تبث في الحيز المرئي، مثل شمسنا، لا تراها العين بلونها «الصحيح»؟

الأمر سهل بسيط، لولا أن...

لا جدال في الأذواق ولا في الألوان

أمّا وقد تبين لنا أن النجوم بريئة، فلنرجع إلى الأرض نستطلع منها الأمر. فالنجوم لا ذنب لها، لا بل قل إنها بذلت لمساعدتنا ما استطاعت، فكان أقربها إلينا، أي الشمس، نجماً تقع نقطة إشعاعه القصوى في مجال الأخضر، لكن الناس جميعاً يصرون على ألا يروه كذلك. لذا فقد آن لنا أن نتذكر شيئاً مهماً، هو أن اللون ليس في واقع الأمر ظاهرة فيزيائية، بل ظاهرة بيولوجية إن لم نقل إنها سيكولوجية. فهل يرى عقلنا اللون الأخضر؟ يبدو السؤال غريباً، بحكم أننا نرى المروج الخضراء من حولنا ونستمتع بخضرتها. لكن لا ينبغي أن ننسى أن عدداً من العلماء في القرن التاسع عشر كانوا يتساءلون، جادين غير هازلين، ما إذا كان الرومان والإغريق يعرفون اللون الأزرق، لفرط ما يندر أن

تعثر على اسم هذا اللون في الكتابات التي بقيت لنا من أيامهم. ولعله قد آن لنا أن نتساءل ما الفرق عندنا بين الأحمر والأخضر مثلاً، وبشكل أعم عما يعنيه لنا اللون بمطلق القول. لقد كان غوته على صواب حين قال إن «اللون الذي لا ينظر إليه أحد لون غير موجود». ففستان بلون الفيروز مثلاً ليس كذلك إلا حين ينظر إليه شخص ما، وشريطة أن يكون لون الفيروز معروفاً في الثقافة التي ينتمي إليها هذا الشخص. فلا ننسى أن الألوان الوحيدة التي كانت لقرونٍ طويلةٍ معروفةً في أوربا هي الأبيض ونقيضاه الأسود والأحمر. وقد بقيت آثار في لغتنا اليومية تشهد بفقر المشهد اللوني في أوربا القديمة وضيقه، منها مثلاً أننا لا نعرف من ألوان الشعر سوى الأسود والأشقر والأحمر الباهت (بلون الجعة)، وأن صنّاع الخمور عندنا، على خبرتهم الطويلة، لا يعرفون من ألوان النبيذ سوى الأحمر والأبيض. أما حكاياتنا

الشعبية فلا تجد فيها إلا حديث قطعة الجبن البيضاء التي يحملها غراب أسود يحتال عليه ثعلب أشقر ليسرقها منه، أو قصة الأميرة البيضاء التي تسممها عجوز شمطاء بتفاحة حمراء. ثم جاءت القرون الوسطى وتقاليد الفروسية فأضافوا إلى الألوان الثلاثة المذكورة الأزرق والأخضر والأصفر، فكانت تلك هي الألوان الوحيدة التي دخلت في تصميم شعارات الأسر النبيلة والمالكة، وهل يتصور أحد شعاراً من ذلك الزمن يحمل رسم أسد وردي على خلفية بنية؟ ثم جاء عصر النهضة الذي قرر، ربما تحت تأثير الطباعة والعقيدة البروتستانتية، الاستغناء عن الأبيض والأسود من لائحة ألوانه، التي جعلها تتكون من البنفسجي والأزرق والأخضر والأصفر والأحمر، أي مقطع ألوان قوس قزح العصري عند الفيزيائيين، وهو المقطع الذي وصفناه آنفاً حين قلنا إن الأزرق يقابل طول موجة من 470 نانومتراً، وإن

الأحمر يقابل طول موجة من 650 نانومتراً. ولعله من الممتع المسلي أن نذكر أن «ضد» الأحمر هو الأبيض عند كاتب مع عصر الرومان، وهو الأزرق عند مثقف من العصور الوسطى، وهو الأخضر عند رسام معاصر، وهو الأزرق المخضر عند أهل الطباعة في أيامنا هذه!

حتى درجة اللون ليست، ولم تكن يوماً تُعَدُّ مكوناً رئيساً من مكونات هذا «اللون». ففي العصور الوسطى كان إشباع اللون مسألة بالغة الأهمية، وكانوا يرون الأحمر القاني أقرب إلى الأزرق الداكن منه إلى الأحمر الباهت. أما عند اليابانيين فالفرق بين اللون كامداً ولامعاً فرق جوهري، وأما بعض الشعوب الإفريقية فإنها ترى ألواناً جافة وأخرى رطبة، وألواناً صامتة وأخرى صاخبة، وهي كلها فروق لا نراها نحن. ورجوعاً إلى الأخضر نذكر أن اللهجة المحلية في

مقاطعة بروطانيا الفرنسية تستعمل لفظة «غلاز» glaz لوصف لون السماء ولون البحر ولون أوراق الأشجار معاً. ولعل ذلك هو السبب في أن لون البحر والسماء في تلك المقاطعة دائماً أزرق. فهل ترى نعجز عن رؤية النجوم خضراء بسبب انحباس ثقافي يجعلنا نراها على غير ما هي عليه؟ إن اللون الأخضر قلما حظي بسمعة طيبة في الغرب، فهو جالب لسوء الطالع وهو رمز المصادفة العمياء والمغامرة والقدر والفوضى، وباختصار فهو رمز الشر. والأخضر كذلك لون الحمقى والمشروبات السحرية والسموم ولون طاولة القمار وفوق هذا وذاك لون الطبيعة المخيفة الغامضة المتوقدة الخارجة عن السيطرة. ولم يكتسب هذا اللون بعض المعاني الإيجابية إلا مؤخراً، إذ أصبح لونَ الحرية (مثل الحال في أضواء المرور) ولون الشباب، حيث نقول عن الفتى الشاب إنه «أخضر العود». وغني عن

القول إن لهذا اللون، لأسباب ثقافية طبعاً، سمعةً طيبة في بلاد الإسلام على مرّ التاريخ...

لكن، ما اللون في نهاية المطاف؟

لنتركِ الهزل جانباً، فليس هناك من سبب ثقافي كان بإمكانه أن يمنعنا، أياً كان الوسط الثقافي الذي ننحدر منه، من أن نرى الشمس خضراء لو كانت بالفعل خضراء كالتفاحة. إذن، فما الذي يجعل التفاحة الخضراء أكثر خضرة من الشمس؟ إن التفاحة، مثلها في ذلك مثل الشجرة التي تنتجها والبرية المحيطة بها، لا تزيد على أن تعكس صوب أعيننا جزءاً من الضوء الذي تتلقاه من الشمس. إنه جزء فقط؛ لأن قشرة التفاحة تحتوي على خضاب يمتص جزءاً آخر من تلك الأشعة، وعلى وجه التحديد منها ذات أطوال الموجات القصيرة، أي البنفسجي والأزرق، ولكن أيضاً الأشعة ذات أطوال الموجات الطويلة، أي الأصفر والأحمر. والنتيجة أن الجزء الوحيد من الأشعة الذي لا تمتصه

القشرة بل تعكسه هو جزء يقع في نطاق ضيق متركز حول الأخضر. ذلك ما يجعل التفاحة تبدو لنا خضراء فيما لا تبدو الشمس كذلك. إنها بكل بساطة مسألة طول موجات: فالتفاحة حين تعكس الضوء تبث أشعة على نطاق ضيق هو نطاق اللون الأخضر، في حين تبث الشمس أشعتها على نطاق أوسع من ذلك بكثير، يضم إضافة إلى الأخضر ألوان الطيف الأخرى جميعاً، المرئي منها وغير المرئي. هذا واضح لا غبار عليه، لكن ما دخل عرض الشريط باللون الذي تراه أعيننا من الشمس؟ لماذا نرى شمساً صفراء لا زرقاء ولا خضراء؟

لا بد لنا، من أجل فهم ذلك، من إطلالة نعرج فيها على الطريقة التي ترى بها العين الألوان والطريقة التي يتّبعها الدماغ في تأويل ما تراه العين. لقد اهتم توماس يونغ Thomas Young بالمسألة في بداية القرن التاسع عشر، فبدا له من غير

المعقول أن تتوافر في العين لاقطات مختلفة يلتقط كل منها واحداً من الألوان العديدة التي تستطيع العين تمييزها. وقد طفق الرجل يراقب الطريقة التي يمزج بها الرسامون الألوان الأساس ليحصلوا على درجات وتفرعات منها، فاستنتج من ذلك أن ثلاثة أنواع من اللاقطات يمكن أن تكفي لتمييز الألوان جميعاً، يكون أحدها حساساً للون الأزرق والثاني للأخضر والثالث للأحمر، بحيث يكون كل منها في حالة تحريض تزيد أو تنقص حسب طيف الضوء الساقط على العين. فحين يكون الضوء المتسبب في التحريض أحمر فإن اللاقطات الحساسة لهذا اللون تستجيب له، فيما تبقى لاقطات الأزرق والأخضر ساكنة، والنتيجة أن الدماغ يتلقى رسالة تقول له إن لون الشيء المعني هو الأحمر. أما إذا كانت العين تتلقى ضوء مصباح أصفر فإن لاقطات الأحمر والأخضر تستجيب بالقوة ذاتها، في حين

تبقى لاقطات الأزرق ساكنة، والنتيجة أن الدماغ يتلقى رسالة تبلغه بأن الشيء المعني ذو لون أصفر. فإذا أنت خلطت تلك الألوان جميع وسلطتها على العين فإن اللاقطات جميعها ستستجيب، وحينها يتلقى الدماغ رسالة تقوله إن الشيء الذي تنظر إليه العين أبيض. لنأخذ الآن مصدر ضوء يشع على طيف عريض مثل الشمس، فمع أن إشعاعه الأقصى أخضر، إلا أنه يشع كذلك بقوة في نطاق الأصفر والأحمر من جهة، وفي نطاق الأزرق والبنفسجي من الجهة الأخرى، والنتيجة أن اللاقطات جميعها تكون محرضة، مما يجعل الرسالة الواردة على الدماغ تقول له إن الشمس بيضاء. لذلك تبدو لنا الشمس بيضاء، لا بل إنها هي التي نقصد حين نتحدث عن «الضوء الأبيض» مطلقاً. وقُلِ الشيء نفسه في قطعة الحديد المحماة التي نراها وقد ابيضت فيما هي تبث أيضاً كثيراً من الأشعة الصفراء والخضراء والزرقاء.

واللون الذي تراه العين ليس هو لون نقطة الإشعاع القصوى في طيف الضوء الذي تتلقاه؛ لأن الأشعة التي لها أطوال موجات قريبة من تلك النقطة تبث هي أيضاً بقوة، مما يجعل لاقطات الضوء في العين جميعاً في حال تحريض. وفي حال النجوم فإن تتابع الألوان الذي تراه عين الإنسان (لا القطط التي لها في ذلك رأي آخر) هو الأحمر ثم البرتقالي ثم الأصفر فالأبيض المائل إلى الصفرة فالأبيض المائل إلى الزرقة.

عرفنا الجواب أخيراً: ليس في السماء نجوم خضراء لأنها حين تكون كذلك تراها أعيننا بيضاء.

والحق أن ذلك يكاد يكون الجوابَ إلا أنه غير كامل؛ لأن رؤية الألوان مسألة أَعقد من ذلك قليلاً. لقد مكّنتنا البيولوجياً الجزيْئية من أن نحدد في العين البشرية اللاقطات الحساسة للأزرق والأخضر والأحمر، تماماً كما تنبأ بها يونغ قبل قرنين من

الزمن، غير أن المنطقة المركزية من الشبكية، أي المنطقة التي يكون فيها البصر أحدَّ ما يكون، لا تكاد تحتوي إلا على نوعين من اللاقطات، أحدهما حساس للأصفر المائل إلى الخضرة والآخر حساس للأخضر المائل إلى الصفرة. وللدماغ بعدها أن يتصرف ليستخرج منها الأحمر القاني والأزرق القاتم. فكيف يا تُرى يفعل الدماغ كي يخترع الألوان؟

العين والدماغ والبصر

يدخل الضوء العين فيخترق القرْنية، حيث تحوله العدسة بعدها إلى شعاع مركز على بؤرة فوق سطح الشبكية. هذه الأخيرة تتكون من طبقات عديدة متراكبة من الخلايا العصبية، تحتوي الطبقة السفلى منها على جزيْئات حسّاسة للضوء. إن موقع هذه الجزيئات في الطبقات السفلى من الخلايا (مما يرغم الضوء على اختراق طبقات عديدة قبل أن تستشعره العين) يُعَدُّ حالةً شاذة في تطور الفقريات، فبعض الرخْويات لها أعين متطورة كذلك، لكن طبقاتها متراكبة على الوجه «الصحيح»، بحيث تقع الطبقة الحساسة للضوء في الأعلى. والخلايا الحساسة للضوء عند الإنسان هي ستة ملايين من المخروطيات cônes، تتركز في غالبيتها في بؤرة العين fovéa، ومائة وعشرين مليوناً من العصيات

bâtonnets الموزعة على الجوانب.

والمبدأ الذي تشتغل تلك الخلايا على أساسه واحد، إذ تحتوي هذه وتلك على جزيئات تتكون من عنصرين هما «**الشبكي**» rétinal، وهو حساس للضوء، و«**الأبْسين**» opsine، وهو بمثابة الحامل لسابقه. حين يمتص الشبكي الضوء فإنه يغير من شكله وينفصل عندها عن حامله، مما يطلق مجموعة من التفاعلات الكيميائية الحيوية تُفضي إلى إطلاق إشارة كهْربية (دفق أو سائل عصبي) يجري إرسالها إلى الطبقة التالية من الخلايا العصبية. وكلما كانت قوة الضوء أكبر كانت الجزيئات التي تغير من شكلها ومن مكانها أكثر، وكان الدفق العصبي بالتالي أوفر. ويلزم بعض الوقت بعد ذلك كي تستعيد الشبكيات شكلها ومكانها لتكون مستعدة لتلقي فيْض جديد من الضوء ونقله، وهو ما يشرح حالة العمى المؤقت التي تصيب العين من أثر النظر في

مصدر ضوء مبهر. والعصيات تحتوي على قدر زائد من الشبكيات، مما يجعلها أكثر حساسية للضوء الضعيف من المخروطيات، لكنها تحتاج إلى وقت أطول مما تحتاجه هذه لاستعادة نشاطها بعد التعرض للضوء (مائة جزء من ألف من الثانية عوض عشرين جزءاً)، وهي بالتالي أجدى في الإبصار الليلي منها في النهار. وبالمناسبة فإن الاسم اللاتيني للشبكي، أي rétinal، مشتق من rétinol، الذي يعرف أيضاً باسم الفيتامين ألف A، والذي ينتجه الجسم انطلاقاً من الجزَرين carotène، ولذلك يعد استهلاك الجزر مساعداً على تحسين الرؤية الليلية.

تحت الطبقة الأولى من **الخلايا الحساسة** المكونة من المخروطيات والعصيات، تأتي طبقة ثانية من الخلايا العصبية، هي المعروفة باسم **الخلايا ثنائية القطب**، نظراً لكونها ترتبط من جهة بالطبقة الأولى ومن الجهة الثانية بطبقة ثالثة تتكون من خلايا

تُعرف باسم **الخلايا العقدية** ganglionnaires، التي تكوّن امتداداتُها العصبية axones العصبَ البصري. وترتبط الخلايا ثنائية القطب من جهة أخرى في ما بينها بواسطة الخلايا الأفقية، فيما ترتبط الخلايا العقدية في ما بينها بواسطة الخلايا المعروفة باسم أماكرين amacrines. وهذا يعني أن شبكية العين تتألف من تركيبة معقدة من الروابط العمودية (مخروطية↔خلية ثنائية القطب↔خلية عقدية) والروابط الأفقية (خلية ثنائية القطب↔خلية أفقية↔خلية ثنائية القطب أو خلية عقدية↔خلية أماكرين↔خلية عقدية). وبعض تلك الروابط محرِّض (إذ إن وصول دفْق عصبي إلى خلية معينة يجعلها تبعث بدورها بدفق عصبي صوب التي تليها)، كما أن بعضها مُحْبِط (حيث يمنع وصولُ دفقٍ عصبي بثَّ دفق عصبي آخر)، وهو ما يتيح تعديلاً دقيقاً لردود الأفعال العصبية في العصب البصري

ثم في الجزء المختص بالبصر في القشرة الدماغية بعد ذلك.

وتتغير كثافة هذه الروابط، أفقيةً وعموديةً، تغيراً كبيراً من مكان إلى آخر من الشبكية. ففي البؤرة البصرية نجد أن كل خلية مخروطية ترتبط بخلية ثنائية القطب واحدة، ترتبط بدورها بخلية عقدية واحدة، مما يتيح تحديداً جيداً لمعالم الصورة، ونحن متى أردنا أن نتمعَّن في صورة جعلناها مقابلة للبؤرة البصرية في أعيننا. وعكس ذلك ما يقع في المناطق الجانبية من الشبكية، حيث ترتبط العديد من المخروطيات بخلية ثنائية القطب واحدة، وترتبط العديد من هذه بخلية عقدية واحدة، وهو ما يجعل تلك المنطقة من العين أقل قدرة على تبيُّن تفاصيل الصورة، لكنها في الآن ذاته أقدر على الإحساس بالأضواء الضعيفة، لأن المئات من اللاقطات تكون مرتبطة بخلية واحدة من خلايا الدماغ، مما يجعل إشاراتها تتركّز

جميعاً في الرسالة التي تتلقاها تلك الخلية. وأعجب من ذلك القدرةُ على طرح بعض الإشارات من بعض، وبالتالي تمييزها ومقارنة إحداها بالأخرى، عبر استعمال دقيق لخاصيات التحريض والإحباط اللتين ذكرناهما آنفاً. والعين بقدرتها على مقارنة الإشارتين اللتين تتلقاهما مخروطيتان أو عصيتان جارتان، تستطيع تمييز التفاوت في شدة الإضاءة، مما يمكِّنها من تَعَرُّفِ الأشياءِ التي تحيط بنا وتمييز بعضها عن بعض. أضف إلى ذلك أن بعض الخلايا أو مجموعات الخلايا العصبية تستجيب للتحريض متى كان الشيء المرئي ذا شكل أو اتجاه معين (كالخطوط الأفقية مثلاً)، في حين تستجيب خلايا أو مجموعات خلايا أخرى متى كان للشيء المرئي شكل آخر (كالخطوط العمودية أو المائلة). كما أن شبكة الروابط تتيح، على مستوى الطبقتين الثانية والثالثة من الشبكية، تحديداً دقيقاً لكل تغيير يطرأ

على الشدة الضوئية مع مرور الزمن، مما يتيح تحديد اتجاه حركة الأشياء ومدى تلك الحركة. والحصيلة أن أطراف الشبكية حساسةٌ لحركة الأشياء أكثر من حساسيتها لشكلها، والمنطقة التي تحيط بالمركز أكثر حساسيةً لأشكال الأشياء لكنها قليلة الإحساس بلونها، في حين أن المركز شديد الحساسية للتفاصيل الدقيقة وللألوان.

لكن، بالمناسبة كيف يا تُرى نبصر الألوان؟

كلما كان الضوء أكثر شدة كانت جزيئات الشبكيات التي تغير من شكلها وتنفصل عن حواملها من أثر ذلك أكبر عدداً. بيْد أن شدة الإضاءة ليست العامل الوحيد الحاسم في هذا المجال، بل يضطلع طول الموجة كذلك بدور، إذ إن الشبكي لا يمتص إلا القليل من الأشعة ذات الموجات الطويلة جداً والقصيرة جداً (ولذلك لا نبصر الأشعة فوق البنفسجية ولا الأشعة تحت الحمراء). لكن هذا يعني

استحالة التمييز بين شدة الإضاءة وطول الموجة، وبالتالي فكيف السبيل إلى التمييز بين دفق عصبي مصدره ضوء أحمر قوي وآخر مصدره ضوء أخضر خافت؟ لا بد إذن من نوعين من اللاقطات، أحدهما حساس للموجات القصيرة والآخر للطويلة، بحيث إذا جاء رد الفعل من الأول أقوى من نظيره عند الثاني كان معنى ذلك أن الأمر يتعلق بضوء ذي طول موجة قصير وذي شدة متوسطة. وبتعبير آخر فإن الفرق ما بين الإشارتين يعطي معلومة عن طول الموجة، في حين أن الجمع بينهما يعطي معلومة عن شدة الإضاءة. بيد أن ذلك لا يضع حداً لكل اشتباه، إذ قد يفضي طيفان مختلفان إلى استثارة اللاقطات بالطريقة نفسها. والتوافر على صنف ثالث من اللاقطات سيفضي دون شك إلى الحد من الالتباس، لكنه لا يزيله نهائياً، بدليل ما ذكرناه حين الحديث عن نظرية يونغ ومسألة لون الشمس الأخضر الذي

نراه أبيض. والخلاصة أن اللاقطات كلما ازدادت عدداً زادت معها القدرة على التمييز بين الألوان. وتملك بعض الحيوانات صنفاً واحداً فحسب من اللاقطات، في حين تملك أخرى اثنين منها أو ثلاثة أو أربعة أو حتى خمسة.

والطبيعة في نزوعها إلى الاقتصاد لا تستعمل أنواعاً متعددة من اللاقطات، بل نسخاً معدلة من لاقط واحد، هو اللاقط الذي يعتمد في عمله على حساسية الشبكي للضوء. فهذه الحساسية رهينة بطبيعة الحامل الذي يحمل الشبكي، بمعنى أن تغيراً يدخل على الحامل ينعكس على حساسية الشبكي، إذ يتغير طول الموجة الذي يمتص عنده الضوء. والشبكي عند الإنسان مثبَت على ثلاثة أنواع من الأبسين، هي الرودوبسين rhodopsine الذي نجده في العصيات، واليودوبسين iodopsine بأصنافه الثلاثة S وM وL، ونجده في المخروطيات.

وفي العادة يكاد يقتصر كل مخروطي على صنف واحد من هذه الأصناف دون غيره. وحساسية الشبكي المرتبط بالرودوبسين تكون في أقصاها عند حوالي 500 نانومتر (أي في حيز الأزرق المخضر)، لكنها تتناقص سريعاً إلى الجانبين، جهة الموجات ذات الأطوال الأقصر والأطول من ذلك. أما اليودوبسين S فإن حساسيته تميل نحو الموجات قصيرة الطول، حوالي 440 نانومتراً، ولذلك منحوه اسما هذا الحرف الأول من كلمة short الإنجليزية بمعنى «قصير». وحساسية اليودوبسين M تميل نحو الموجات المتوسطة، مع حد أقصى يقع في حيِّز بين الأخضر والأصفر، أي حوالي 530 نانومتراً، ومن ثمة حرف M الأول من كلمة medium بمعنى متوسط. أما حساسية اليودوبسين L فتتجه صوب الموجات الأولى في حيز الأصفر، بحوالي 560 نانومتراً، وطبعاً فالحرف L يرمز إلى large، بمعنى «كبير».

أما من الناحية الكيميائية فإن الرودوبسين قريب من اليودوبسين صنف S، وهما معاً يتميزان عن الاثنين الآخرين، أي اليودوبسين صنف M وصنف L، القريبين من بعضهما أيضاً. ومن المحتمل أن تكون كلها منحدرة من جزيْء واحد عن طريق تحولات في الجينات التي تشفِّرها. بل إن صنفي اليودوبسين M وL يتم تشفيرهما من قِبل جينات تحتل مواقع متتابعة على شريط الحِمض النووي على الصبغية X، وكل خلل يصيب هذه المنطقة يفضي إلى العجز عن التمييز بين الأخضر والأحمر، وهو العجز المعروف عند المرضى المصابين بعمى الألوان، ذلك المرض الذي يصيب الرجال (الذين لديهم صبغية X واحدة) بأكثر مما يصيب النساء (اللواتي لديهن منها اثنتان). ويبدو أن الرودوبسين لا يضطلع بأي دور في رؤية الألوان، وأن المخروطات بأنواعها الثلاثة هي التي تقوم بذلك. وبهذا نرى أن البيولوجيا الجزيئية تؤكد

في ما يبدو صواب نظرية يونغ ثلاثية الألوان.

إن الطبيعة، مع ذلك، ليست بتلك البساطة. فقد لاحظ إيوالد هيريغ Ewald Herig في القرن التاسع عشر أن الذهن البشري يجمع الألوان أزْواجاً، فالأخضر يقابله الأحمر والأصفر يقابله الأزرق (علاوة على الزوج المتكون من الأبيض والأسود، اللذين يتقابلان من حيث الشدة). وبالمناسبة، هل لاحظت أيها القارئ أن هذه الألوان الستة هي بالذات الألوان المستعملة في تصميم شعارات الأسر النبيلة والمالكة في أوروبا في العصر الوسيط؟ وقد لاحظ هيريغ أن نظرية يونغ لا تشرح لنا لماذا يبدو الأصفر لوناً حقيقياً وليس كما هو على حقيقته، أي أخضر مائلاً إلى الحمرة بعض الميل. بعد ذلك بزمن جاء إدوين لاند Edwin Land (مخترع البولارويد) ليبين بالتجربة من جهةٍ أن الدماغ يستطيع إعادة تكوين الألوان في صورة فوتوغرافية ليس فيها سوى

خضابين اثنين، ومن جهة أخرى أن اللون كما تراه العين رهين إلى درجة كبيرة بالمحيط الذي يوجد ذلك اللون فيه. فأن يكون لونان اثنان كافيان هو أمر يتسق مع الملاحظة التي مفادها أن شبكية العين لا يكاد يوجد فيها من المخروطات سوى صنفي M وL (إذ لا تمثل المخروطات من صنف S سوى 2 بالمائة من مجموع المخروطات، وهي بالإضافة إلى ذلك توجد خارج منطقة البؤرة البصرية). أما في ما يتعلق بتأثير المحيط في اللون كما تراه العين، فإن طول موجة الضوء الساقط على العين (يكاد يكون) أقل أهمية في تحديد اللون من فوارق شدة الإضاءة وطول الموجات بين المناطق المتجاورة. وهذا يقيم الدليل على صحة حدْس هيريغ في كون الدماغ يستشعر الفوارق ما بين الألوان والطبقات المختلفة منها أكثر مما يستشعر الألوان نفسها.

هذه النظريات المختلفة تجد طريقها اليوم إلى

التلاقي بفضل ما شرع فيه العلم من إعادة تركيب (لا تزال في أوائل خطواتها) للهندسة المعقدة التي تميز الروابط العصبية في قرنية العين. هذه الروابط تتوزع على شبكات متعددة متوازية، يختص بعضها باستشعار الأشكال والآخر بالحركات وثالث بالألوان، وكل منها مرتبط بمناطق مختلفة من القشرة الدماغية. وفي ما يخص الألوان فإن الروابط الموجودة في الشبكية وفي القشرة الدماغية تتيح للدماغ أن «يرى» بعض طبقات الألوان (كالأحمر المائل قليلاً إلى الزرقة، أي اللون الأرجواني)، لكن بعضها يبقى خفياً عليه لاستحالة استشعاره (ليس هناك من أخضر مائل إلى الحمرة، لكن هناك اللون الأصفر). من جهة أخرى، فإن لعبة التحريض والإحباط فيما بين الروابط العصبية تتيح «تصحيح» الإشارة القادمة من مجال الإبصار، تصحيحها حسب الإشارات القادمة من المناطق المجاورة،

وخصوصاً تصحيح تغيُّرات شدة الإضاءة. وهذا ما يشرح كيف أن الليمونة تبدو لنا صفراء باللون نفسه سواء نظرنا إليها تحت ضوء شمس النهار أو في الظل أو عند الغسق، رغم أن الأشعة الساقطة عليها في هذه الحالات الثلاث تختلف اختلافاً كبيراً من حيث طول الموجات كما من حيث شدة الإضاءة. هذا الثبات في رؤية الألوان يكتسي دون شك أهمية حيوية بالنسبة إلى استعمال الألوان استعمالاً صحيحاً من قِبل الحيوانات. فهو يتيح مثلاً لقرد الشمبانزي أن يتعرف إلى الفاكهةَ الناضجة من لونها أياً كانت ظروف الإضاءة.

بيْد أن هذا كله لا ينبئنا في نهاية المطاف بما يجعلنا نحس بأن هناك لوناً أحمر حين ننظر إلى تفاحة، أو أزرق حين نتأمل صفحة سماء صافية. ففي مكان ما بين علم الأعصاب وعلم النفس تضيع معالم الطريق...

خاتمة

رجوعاً إلى ما كنا فيه من حديث النجوم نقول إننا قد ارتكبنا بعض الغش منذ البداية، ويلزمنا الآن أن نعترف بأن النجوم قليلة الإضاءة ضعيفة اللمعان، إذ يكفي الجزء الصغير الذي يعكسه الغلاف الجوي من نور الشمس لجعلها تختفي فلا تعود تبين، ولا يراها الرائي إلا بعد غروب الشمس بزمن. لكن المخروطيات في شبكية أعيننا، وهي المكلفة باستشعار الألوان، لا تشتغل جيداً إلا متى كانت الإضاءة كافية، أما في الليل فالقطط جميعها رمادية لا فرق بينها في ذلك وبين الفئران! إن ضوء النجوم أضعف من أن يمكِّن المخروطيات من تمييز الألوان، والعين لا تستطيع أن تميز بالتالي سوى الفرق في شدة الإضاءة، ولذلك تبدو النجوم جميعها بيضاء على خلفية سماء الليل السوداء، اللهم إلا القلة القليلة

منها التي تلمع بما يكفي لاستثارة المخروطات، مما يجعل العين تراها ملونة بعض الشيء، ومنها نجم الدبران.

لقد كان الأمير الصغير على حق، فالنجوم جميعها بيضاء...

ثبت بالمصطلحات العلمية المستعملة

المصطلح المستعمل في الترجمة	اللفظ الأجنبي
سعة الاهتزاز	amplitude
طول الموجة	longueur d’onde
وحيد اللون	Monochromatique
عناصر الصورة	pixels
شدة	intensité
المقطع الرئيس	séquence principale
قزم أبيض	naine blanche
عملاق أحمر	géante rouge
قزم بني	nain brun
مخروطيات	cônes
عصيات	bâtonnets
بؤرة العين	fovéa
شبكي	rétinal
أبسين	opsine

flux	دفق
cellules ganglionnaires	خلايا عقدية
axones	امتدادات عصبية
amacrines	أماكرين
rhodopsine	رودوبسين
iodopsine	يودوبسين

ملخص

السؤال الذي يطرحه الكتاب سؤال مشروع رغم أننا قلما نطرحه على أنفسنا: ما السر في وراء ألوان النجوم؟ إن الناظر في السماء في ليلة صافية يرى النجوم بادئ الأمر بيضاء، فإذا تأملها قليلاً اكتشف أن منها كذلك الحمراء والصفراء والزرقاء، لكن ليس هناك من نجم أخضر في السماء.

لماذا يا ترى؟

من أجل الجواب عن هذا السؤال يدعونا ألان بوكي إلى رحلة تبدأ من التساؤل عن ماهية اللون: أهي خاصية من خواص الشيء المرئي أم من خواص العين الرائية أم من خواص العقل الذي يفسر ما تراه العين؟ ثم ما الضوء وكيف فهمه البشر على امتداد التاريخ؟ يلي ذلك حديث عن «لون» الشمس والنجوم، يفضي بنا إلى الجواب عن السؤال الأول.

هكذا نكتشف أن اللون في حقيقته ألوان، وأنه أمرٌ من فعل الموجات، نغير أطوالها فتتغير الألوان، كما نكتشف أن اللون ليس شيئاً من صميم مادة الشيء وأن لون الشيء إنما هو ناطق ينطق بطبيعة الموجات التي تهتز لها ذرات الطبقة الخارجية منه فتعكسها فنراها، والموجات التي لا تحدث فيها تأثيراً فتمتصها فلا نراها.

لكن الأشياء ليست كلها منظورة بفضل شعاع يسقط عليها فتعكس منه ما تعكس وتمتص ما تمتص، بل منها ما هو منظور بذاته، أي انه يُصدر بنفسه أشعة تراها العين. ومن هذه الأجسام المضيئة بذاتها المصابيحُ ومنها الألعاب النارية ومنها النجوم. على أن الأشعة التي ترسلها الأجسام ليست جميعها مرئية لأعيننا، فالأجسام الحارة تبث أشعة غير مرئية لنا نحس أثرها حرارةً لكننا لا نراها، هي المعروفة باسم الأشعة تحت الحمراء، كما أن هناك أشعة

أخرى لها تأثير في حياتنا، نحسها كذلك لكننا لا نراها، هي الأشعة فوق البنفسجية، وأشعة كثيرة أخرى غيرها لا تراها العين، منها ذات التطبيقات الطبية ومنها ذات الضرر ومنها ما بين هذا وذاك.

إنها جولة ممتعة بين الأمواج والألوان، في كتيبٍ كغيره من كتيبات السلسلة ممتع مفيد، يتميز مثلها جميعاً بالتبسيط والنأي عما تتسم به اللغة العلمية عادة من جفاف وتعقيد.

نبذة عن المترجم:

عبد الهادي الإدريسي من مواليد 1957. وهو أستاذ للترجمة بالمدرسة العليا للأساتذة بتطوان، وعضو سابق في اللجنة المغربية الفرنسية المشتركة للتبريز في اللغة الفرنسية. وقد صدرت له مقالات وترجمات في مختلف فروع المعرفة باللغتين العربية والفرنسية. حائز جائزة ابن خلدون - سنغور للترجمة (أبوظبي، 2008) عن ترجمة مشتركة لكتاب «العقل السياسي العربي» للمفكر المغربي محمد عابد الجابري. وهو يشتغل إلى اليوم في إطار مركز البحث العلمي CERCOS في تطوان، حيث يعمل الفريق على ترجمة أعمال الجابري إلى جانب أعمال أخرى.

نبذة عن المؤلف:

ألان بوكيه مدير للأبحاث في المركز الوطني للبحث العلمي وهو يشتغل في مختبر الفيزياء الفضائية ودراسات الكون بجامعة باريس السابعة، حيث يهتم بالأساس بالمادة السوداء في الكون. من بين مؤلفاته الكتاب الذي بين أيدينا، وكتاب «كيف تلمع الشمس؟»، وكتاب «هل ينبغي أن نصدق نظرية الانفجار الأكبر؟».

لماذا لا نرى في السماء نجوماً خضراء؟

هكذا تكتشف أن اللون في حقيقته ألوان، وأنه أمرٌ من فعل الموجات، تغير أطوالها فتتغير الألوان. كما نكتشف أن اللون ليس شيئاً من صميم مادة الشيء وأن لون الشيء إنما هو ناطق ينطق بطبيعة الموجات التي تهتز لها ذرات الطبقة الخارجية منه فتعكسها فنراها، والموجات التي لا تحدث فيها تأثيراً فتمتصها فلا نراها.

إنها جولة ممتعة بين الأمواج والألوان، في كتيبٍ كغيره من كتيبات السلسلة ممتع مفيد، يتميز مثلها جميعاً بالتبسيط والنأي عما تتسم به اللغة العلمية عادة من جفاف وتعقيد.

كلمة
KALIMA

9789948170273